

# Inhaltsübersicht

---

Vorwort zur amerikanischen Ausgabe	XXXV
Vorwort zur 10. deutschen Auflage des Campbell	XXXVIII
Was den <i>Campbell</i> auszeichnet	XLIII
<b>Kapitel 1</b>	<b>Einführung: Evolution, Schlüsselthemen der Biologie, Forschung</b> . . . . . 1
<b>Teil I</b>	<b>Die chemischen Grundlagen des Lebens</b> . . . . . 37
<b>Kapitel 2</b>	<b>Der chemische Kontext des Lebens</b> . . . . . 39
<b>Kapitel 3</b>	<b>Wasser und Leben</b> . . . . . 61
<b>Kapitel 4</b>	<b>Kohlenstoff und die molekulare Vielfalt des Lebens</b> . . . . . 79
<b>Kapitel 5</b>	<b>Struktur und Funktion biologischer Makromoleküle</b> . . . . . 93
<b>Teil II</b>	<b>Die Zelle</b> . . . . . 125
<b>Kapitel 6</b>	<b>Ein Rundgang durch die Zelle</b> . . . . . 127
<b>Kapitel 7</b>	<b>Struktur und Funktion biologischer Membranen</b> . . . . . 163
<b>Kapitel 8</b>	<b>Einführung in den Stoffwechsel</b> . . . . . 185
<b>Kapitel 9</b>	<b>Zelluläre Atmung und Gärung</b> . . . . . 211
<b>Kapitel 10</b>	<b>Photosynthese</b> . . . . . 241
<b>Kapitel 11</b>	<b>Zelluläre Kommunikation</b> . . . . . 271
<b>Kapitel 12</b>	<b>Der Zellzyklus</b> . . . . . 299
<b>Teil III</b>	<b>Genetik</b> . . . . . 323
<b>Kapitel 13</b>	<b>Meiose und geschlechtliche Fortpflanzung</b> . . . . . 325
<b>Kapitel 14</b>	<b>Mendel und das Genkonzept</b> . . . . . 345
<b>Kapitel 15</b>	<b>Chromosomen bilden die Grundlage der Vererbung</b> . . . . . 379
<b>Kapitel 16</b>	<b>Die molekularen Grundlagen der Vererbung</b> . . . . . 405
<b>Kapitel 17</b>	<b>Vom Gen zum Protein</b> . . . . . 433
<b>Kapitel 18</b>	<b>Regulation der Genexpression</b> . . . . . 467
<b>Kapitel 19</b>	<b>Viren</b> . . . . . 505
<b>Kapitel 20</b>	<b>Gentechnik in der Biotechnologie</b> . . . . . 527
<b>Kapitel 21</b>	<b>Genome und ihre Evolution</b> . . . . . 565
<b>Teil IV</b>	<b>Evolutionsmechanismen</b> . . . . . 597
<b>Kapitel 22</b>	<b>Die darwinistische Sicht des Lebens: Evolutionstheorie – Abstammung mit Modifikation</b> . . . . . 599
<b>Kapitel 23</b>	<b>Die Evolution von Populationen</b> . . . . . 623
<b>Kapitel 24</b>	<b>Die Entstehung der Arten</b> . . . . . 649
<b>Kapitel 25</b>	<b>Die Geschichte des Lebens auf der Erde</b> . . . . . 673

<b>Teil V</b>	<b>Die Evolutionsgeschichte der biologischen Vielfalt</b>	<b>707</b>
Kapitel 26	Der phylogenetische Stammbaum der Lebewesen . . . . .	709
Kapitel 27	Bacteria und Archaea . . . . .	737
Kapitel 28	Protisten . . . . .	769
Kapitel 29	Die Vielfalt der Pflanzen I: Wie Pflanzen das Land eroberten . . . . .	801
Kapitel 30	Die Vielfalt der Pflanzen II: Evolution der Samenpflanzen . . . . .	825
Kapitel 31	Pilze . . . . .	851
Kapitel 32	Eine Einführung in die Diversität und Evolution der Metazoa . . . . .	875
Kapitel 33	Eine Einführung in die wirbellosen Tiere . . . . .	895
Kapitel 34	Herkunft und Evolution der Wirbeltiere . . . . .	937
<b>Teil VI</b>	<b>Pflanzen – Form und Funktion</b>	<b>991</b>
Kapitel 35	Pflanzenstruktur, Wachstum und Entwicklung . . . . .	993
Kapitel 36	Stoffaufnahme und Stofftransport bei Gefäßpflanzen . . . . .	1023
Kapitel 37	Boden und Pflanzenernährung . . . . .	1049
Kapitel 38	Fortpflanzung und Biotechnologie der Angiospermen . . . . .	1069
Kapitel 39	Pflanzenreaktionen auf innere und äußere Signale . . . . .	1097
<b>Teil VII</b>	<b>Tiere – Form und Funktion</b>	<b>1135</b>
Kapitel 40	Grundprinzipien tierischer Form und Funktion . . . . .	1137
Kapitel 41	Hormone und das endokrine System . . . . .	1169
Kapitel 42	Die Ernährung der Tiere . . . . .	1195
Kapitel 43	Kreislauf und Gasaustausch . . . . .	1229
Kapitel 44	Das Immunsystem . . . . .	1269
Kapitel 45	Osmoregulation und Exkretion . . . . .	1303
Kapitel 46	Fortpflanzung der Tiere . . . . .	1333
Kapitel 47	Entwicklung der Tiere . . . . .	1365
Kapitel 48	Neurone, Synapsen und Signalgebung . . . . .	1399
Kapitel 49	Nervensysteme . . . . .	1419
Kapitel 50	Sensorische und motorische Mechanismen . . . . .	1447
Kapitel 51	Tierisches Verhalten . . . . .	1487
<b>Teil VIII</b>	<b>Ökologie</b>	<b>1517</b>
Kapitel 52	Ökologie und die Biosphäre: Eine Einführung . . . . .	1519
Kapitel 53	Populationsökologie . . . . .	1557
Kapitel 54	Ökologie der Lebensgemeinschaften . . . . .	1589
Kapitel 55	Ökosysteme . . . . .	1625
Kapitel 56	Naturschutz und Renaturierungsökologie . . . . .	1657
Anhang A:	Lösungen	1687
Anhang B:	Anleitungen zu den wissenschaftlichen Übungen	1759
Anhang C:	Weiterführende Literatur	1763
Anhang D:	Bildnachweis	1765
Anhang E:	Stichwortverzeichnis	1775

# Inhaltsverzeichnis

---

Vorwort zur amerikanischen Ausgabe XXXV

Vorwort zur 10. deutschen Auflage des Campbell XXXVIII

Was den *Campbell* auszeichnet XLIII

<b>Kapitel 1</b>	<b>Einführung: Evolution, Schlüsselthemen der Biologie, Forschung</b>	<b>1</b>
1.1	Theorien und Konzepte verbinden die Disziplinen der Biologie	3
1.1.1	Jede Organisationsebene in der biologischen Hierarchie ist durch emergente Eigenschaften charakterisiert	4
1.1.2	Die Kontinuität des Lebens beruht auf vererbbarer Information in Form von DNA	8
1.1.3	Die Energieumwandlung durch belebte Materie	11
1.1.4	Vom Ökosystem zum Molekül – Wechselwirkungen sind wichtig in biologischen Systemen	12
1.1.5	Evolution, der große, die gesamte Biologie überspannende Bogen	13
1.2	Einheitlichkeit und Vielfalt der Organismen sind das Ergebnis der Evolution	14
1.2.1	Ordnung in die Vielfalt der Lebewesen bringen	14
1.2.2	Charles Darwin und die Theorie der natürlichen Selektion	17
1.2.3	Der Stammbaum des Lebens	20
1.3	Naturwissenschaftler verwenden unterschiedliche Methoden	21
1.3.1	Biologie als empirische Wissenschaft	22
1.3.2	Induktion und empirische Forschung	23
1.3.3	Hypothesen in der Naturwissenschaft	24
1.3.4	Naturwissenschaftliche Vorgehensweise	24
1.3.5	<i>Fallstudie</i> : Die Erforschung der Mimikry an Schlangenpopulationen	26
1.3.6	Die Planung von Kontrollexperimenten	27
1.3.7	Wissenschaftstheorien	28
1.4	Wissenschaftskultur	29
1.4.1	Auf den Erkenntnissen anderer Wissenschaftler und Vorgänger aufbauen	29
1.4.2	Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaft	31
1.4.3	Die Bedeutung unterschiedlicher Standpunkte in der Wissenschaft	31

## Teil I Die chemischen Grundlagen des Lebens 37

<b>Kapitel 2</b>	<b>Der chemische Kontext des Lebens</b>	<b>39</b>
2.1	Materie besteht aus chemischen Elementen und Verbindungen	40
2.1.1	Elemente und Verbindungen	40
2.1.2	Elemente des Lebens	41
2.1.3	<i>Fallstudie</i> : Toleranzbildung bei toxischen Elementen	41
2.2	Die Atomstruktur bedingt die Eigenschaften eines Elements	42
2.2.1	Subatomare Teilchen	42
2.2.2	Ordnungszahl und Massenzahl	42
2.2.3	Isotope	43
2.2.4	Die Energieniveaus von Elektronen	44
2.2.5	Elektronenverteilung und chemische Eigenschaften	47
2.2.6	Atomorbitale	48

2.3	Die Bildung und Funktion von Molekülen hängen von den chemischen Bindungen zwischen den Atomen ab .....	49
2.3.1	Die kovalente Bindung .....	49
2.3.2	Die Ionenbindung .....	51
2.3.3	Schwache, nichtkovalente Bindungstypen .....	52
2.3.4	Molekülform und -funktion .....	53
2.4	Bindungen werden im Verlauf chemischer Reaktionen gebildet und gebrochen .....	55
<b>Kapitel 3 Wasser und Leben</b>		<b>61</b>
3.1	Wasserstoffbrückenbindungen sind eine Folge der Polarität des Wassermoleküls .....	62
3.2	Das Leben auf der Erde hängt vom Wasser ab .....	63
3.2.1	Kohäsion und Adhäsion .....	63
3.2.2	Ausgleich von Temperaturunterschieden .....	64
3.2.3	Schwimmendes Eis als Garant für den Lebensraum Wasser .....	65
3.2.4	Des Lebens Lösungsmittel .....	66
3.2.5	Leben auf anderen Planeten .....	69
3.3	Organismen benötigen zum Leben bestimmte Säure/Base-Bedingungen .....	69
3.3.1	Säuren und Basen .....	70
3.3.2	Die pH-Skala .....	71
3.3.3	Puffer .....	72
3.3.4	Gefährdungen der Wasserqualität auf der Erde .....	72
<b>Kapitel 4 Kohlenstoff und die molekulare Vielfalt des Lebens</b>		<b>79</b>
4.1	Organische Chemie ist die Chemie der Kohlenstoffverbindungen .....	80
4.1.1	Organische Moleküle und die Entstehung des Lebens auf der Erde .....	81
4.2	Kohlenstoffatome können komplexe Makromoleküle bilden .....	83
4.2.1	Das Entstehen von Kohlenstoff-Bindungen .....	83
4.2.2	Molekulare Vielfalt durch Variation des Kohlenstoffgerüsts .....	84
4.3	Wenige funktionelle Gruppen entscheiden über die biologische Funktion .....	87
4.3.1	Die für die Lebensprozesse wichtigsten funktionellen Gruppen .....	87
4.3.2	ATP: Eine wichtige Energiequelle zellulärer Prozesse .....	89
4.3.3	Die chemischen Elemente des Lebens: <i>Eine Rückschau</i> .....	89
<b>Kapitel 5 Struktur und Funktion biologischer Makromoleküle</b>		<b>93</b>
5.1	Makromoleküle sind aus Monomeren aufgebaute Polymere .....	94
5.1.1	Synthese und Abbau von Polymeren .....	94
5.1.2	Die Vielfalt der Polymere .....	95
5.2	Kohlenhydrate dienen als Brenn- und Baustoffe .....	95
5.2.1	Zucker .....	95
5.2.2	Polysaccharide .....	98
5.3	Lipide bilden eine heterogene Gruppe hydrophober Moleküle .....	100
5.3.1	Fette .....	101
5.3.2	Phospholipide .....	102
5.3.3	Steroide .....	103
5.4	Proteine: Funktionsvielfalt durch Strukturvielfalt .....	104
5.4.1	Aminosäure-Monomere .....	105
5.4.2	Polypeptide (Aminosäurepolymere) .....	105
5.4.3	Proteinstruktur und -funktion .....	107
5.5	Nucleinsäuren speichern, übertragen und verwerten Erbinformation .....	114
5.5.1	Aufgaben von Nucleinsäuren .....	114
5.5.2	Bestandteile von Nucleinsäuren .....	115
5.5.3	DNA- und RNA-Strukturen .....	116
5.6	Biologie im Wandel durch Genomik und Proteomik .....	117
5.6.1	DNA und Proteine als Zeitmaß der Evolution .....	118

<b>Kapitel 6</b>	<b>Ein Rundgang durch die Zelle</b>	<b>127</b>
6.1	Mikroskopie und biochemische Analytik für das Studium von Zellen . . . . .	128
6.1.1	Mikroskopie . . . . .	128
6.1.2	Zellfraktionierung . . . . .	132
6.2	Eukaryontische Zellen sind kompartimentiert . . . . .	133
6.2.1	Vergleich prokaryontischer mit eukaryontischen Zellen. . . . .	133
6.2.2	Die eukaryontische Zelle im Überblick . . . . .	134
6.3	Die genetischen Anweisungen eukaryontischer Zellen finden sich im Zellkern, ihre Umsetzung erfolgt durch die Ribosomen . . . . .	138
6.3.1	Der Zellkern: die Informationszentrale der Zelle. . . . .	138
6.3.2	Ribosomen: die Proteinfabriken der Zelle . . . . .	139
6.4	Das Endomembransystem steuert den Proteinverkehr und wirkt im Zwischenstoffwechsel mit . . .	140
6.4.1	Das endoplasmatische Reticulum: die biosynthetische Fabrik. . . . .	140
6.4.2	Der Golgi-Apparat: Logistikzentrum. . . . .	142
6.4.3	Lysosomen: Verdauungs-Kompartimente. . . . .	143
6.4.4	Vakuolen: vielseitige Mehrzweckorganellen . . . . .	144
6.4.5	Das Endomembransystem im Überblick. . . . .	145
6.5	Mitochondrien und Chloroplasten arbeiten als Energiewandler . . . . .	146
6.5.1	Die evolutionäre Herkunft von Mitochondrien und Chloroplasten . . . . .	146
6.5.2	Mitochondrien: Umwandlung chemischer Energie . . . . .	147
6.5.3	Chloroplasten: Einfangen von Lichtenergie . . . . .	148
6.5.4	Peroxisomen: Weitere Oxidationen . . . . .	148
6.6	Das Cytoskelett ist ein Netzwerk aus Filamenten zur Organisation von zellulären Strukturen . .	149
6.6.1	Funktionen des Cytoskeletts: Stütze und Beweglichkeit. . . . .	149
6.6.2	Bestandteile des Cytoskeletts . . . . .	150
6.7	Zelluläre Aktivitäten werden durch extrazelluläre Komponenten und direkte Zell-Zell-Verbindungen koordiniert . . . . .	155
6.7.1	Pflanzenzellwände. . . . .	155
6.7.2	Die extrazelluläre Matrix tierischer Zellen. . . . .	156
6.7.3	Zell-Zell-Verbindungen (interzelluläre Verbindungen). . . . .	157
6.7.4	Die Zelle: eine lebendige Einheit, mehr als die Summe ihrer Teile . . . . .	159
<b>Kapitel 7</b>	<b>Struktur und Funktion biologischer Membranen</b>	<b>163</b>
7.1	Zellmembranen sind ein flüssiges Mosaik aus Lipiden und Proteinen . . . . .	164
7.1.1	Die Fluidität von Membranen . . . . .	165
7.1.2	Membranproteine und ihre Funktionen . . . . .	166
7.1.3	Die Rolle von Membran-Kohlenhydraten bei der Zell-Zell-Erkennung . . . . .	168
7.1.4	Synthese und topologische Asymmetrie von Membranen . . . . .	168
7.2	Membranen sind aufgrund ihrer Struktur selektiv permeabel . . . . .	169
7.2.1	Die Permeabilität der Lipiddoppelschicht . . . . .	170
7.2.2	Transportproteine . . . . .	170
7.3	Passiver Transport ist die energieunabhängige Diffusion einer Substanz durch eine Membran . .	171
7.3.1	Osmotische Effekte und die Wasserbalance. . . . .	172
7.3.2	Erleichterte Diffusion: Protein-gestützter passiver Transport . . . . .	174
7.4	Aktiver Transport ist die energieabhängige Bewegung von Stoffen entgegen ihrem Konzentrationsgradienten. . . . .	175
7.4.1	Der Energiebedarf des aktiven Transportes . . . . .	175
7.4.2	Wie Ionenpumpen das Membranpotenzial aufrechterhalten . . . . .	177
7.4.3	Cotransport: Gekoppelter Transport durch ein Membranprotein . . . . .	178
7.5	Endocytose und Exocytose vermitteln den Großteil des Transportes durch die Plasmamembran . . . . .	179
7.5.1	Exocytose . . . . .	179
7.5.2	Endocytose. . . . .	180

<b>Kapitel 8</b>	<b>Einführung in den Stoffwechsel</b>	<b>185</b>
8.1	Der Stoffwechsel von Organismen wandelt Stoffe und Energie gemäß den Gesetzen der Thermodynamik um . . . . .	186
8.1.1	Die biochemischen Prozesse sind in Stoffwechselfaden organisiert . . . . .	186
8.1.2	Energieformen . . . . .	187
8.1.3	Die Gesetze der Energietransformation . . . . .	188
8.2	Die Änderung der freien Enthalpie entscheidet über die Richtung, in der eine Reaktion abläuft. . .	190
8.2.1	Die Änderung der freien Enthalpie ( $\Delta G$ ) . . . . .	190
8.2.2	Freie Enthalpie, Stabilität und chemisches Gleichgewicht . . . . .	191
8.2.3	Freie Enthalpie und Stoffwechsel. . . . .	192
8.3	ATP ermöglicht Zellarbeit durch die Kopplung von exergonen an endergone Reaktionen . . . .	194
8.3.1	Struktur und Hydrolyse von ATP. . . . .	194
8.3.2	Wie durch die Hydrolyse von ATP Arbeit geleistet wird . . . . .	195
8.3.3	Die Regeneration des ATP. . . . .	196
8.4	Enzyme beschleunigen metabolische Reaktionen durch das Absenken von Energiebarrieren. .	197
8.4.1	Die Aktivierungsenergie als Hürde. . . . .	197
8.4.2	Wie Enzyme Reaktionen beschleunigen. . . . .	198
8.4.3	Die Substratspezifität von Enzymen. . . . .	199
8.4.4	Katalyse im aktiven Zentrum des Enzyms . . . . .	200
8.4.5	Die Abhängigkeit der Enzymaktivität von Umgebungsbedingungen . . . . .	201
8.5	Die Regulation der Enzymaktivität hilft bei der Kontrolle des Stoffwechsels . . . . .	205
8.5.1	Allosterische Regulation von Enzymen . . . . .	205
8.5.2	Allosterische Aktivierung und Hemmung . . . . .	205
8.5.3	Die spezifische Lokalisation von Enzymen in der Zelle . . . . .	207
<b>Kapitel 9</b>	<b>Zelluläre Atmung und Gärung</b>	<b>211</b>
9.1	Katabole Stoffwechselwege liefern Energie durch die Oxidation organischer Brennstoffe. . . .	212
9.1.1	Katabole Stoffwechselwege und die ATP-Produktion. . . . .	212
9.1.2	Redoxreaktionen: Oxidation und Reduktion . . . . .	213
9.1.3	Die Stadien der Zellatmung: <i>Eine Vorschau</i> . . . . .	217
9.2	Die Glykolyse gewinnt chemische Energie aus der Oxidation von Glucose zu Pyruvat . . . . .	218
9.3	Nach der Pyruvat-Oxidation vervollständigt der Citratzyklus die energieliefernde Oxidation organischer Moleküle . . . . .	219
9.3.1	Oxidation von Pyruvat zu Acetyl-CoA. . . . .	219
9.3.2	Der Citratzyklus. . . . .	220
9.4	Die oxidative Phosphorylierung verknüpft den Elektronentransport über eine chemiosmotische Kopplung mit der ATP-Synthese . . . . .	223
9.4.1	Die Elektronentransportkette . . . . .	223
9.4.2	Die chemiosmotische Kopplung. . . . .	224
9.4.3	Eine Bilanzierung der ATP-Produktion durch die Zellatmung. . . . .	228
9.5	ATP kann auch ohne Sauerstoff durch Gärung oder anaerobe Atmung erzeugt werden . . . . .	231
9.5.1	Verschiedene Gärungsformen . . . . .	231
9.5.2	Ein Vergleich von Gärung und aerober Atmung . . . . .	232
9.5.3	Die evolutionäre Bedeutung der Glykolyse . . . . .	233
9.6	Die Glykolyse und der Citratzyklus sind vielfach mit anderen Stoffwechselwegen verknüpft . .	234
9.6.1	Die Vielseitigkeit des Katabolismus . . . . .	234
9.6.2	Biosynthesen (anabole Stoffwechselwege). . . . .	235
9.6.3	Die Regulation der Zellatmung durch Rückkopplungsmechanismen . . . . .	235
<b>Kapitel 10</b>	<b>Photosynthese</b>	<b>241</b>
10.1	Die Photosynthese wandelt Lichtenergie in chemische Energie um . . . . .	243
10.1.1	Chloroplasten: Die Orte der Photosynthese in Pflanzen . . . . .	243
10.1.2	Der Weg einzelner Atome im Verlauf der Photosynthese: <i>Wissenschaftliche Forschung</i> . .	244
10.1.3	Zwei Teilschritte der Photosynthese: <i>Eine Vorschau</i> . . . . .	246

10.2	Die Lichtreaktionen wandeln Sonnenenergie in chemische Energie in Form von ATP und NADPH um	247
10.2.1	Die Natur des Lichts	247
10.2.2	Photosynthesepigmente: Die Lichtrezeptoren	248
10.2.3	Anregung von Chlorophyll durch Licht	250
10.2.4	Photosystem = Reaktionszentrum + Lichtsammelkomplex	251
10.2.5	Der lineare Elektronenfluss	252
10.2.6	Der zyklische Elektronenfluss	254
10.2.7	Der chemiosmotische Prozess in Chloroplasten und Mitochondrien im Vergleich	255
10.3	Der Calvin-Zyklus benutzt ATP und NADPH, um CO <sub>2</sub> in Zucker umzuwandeln	257
10.4	In heißen, trockenen Klimazonen haben sich entwicklungsgeschichtlich alternative Mechanismen der Kohlenstofffixierung herausgebildet	259
10.4.1	Die Photorespiration: Ein Überbleibsel der Evolution?	259
10.4.2	C <sub>4</sub> -Pflanzen	260
10.4.3	CAM-Pflanzen	263
10.4.4	Die Bedeutung der Photosynthese: <i>Eine Rückschau</i>	264

## **Kapitel 11 Zelluläre Kommunikation** 271

11.1	Externe Signale werden in intrazelluläre Antworten umgewandelt	272
11.1.1	Evolution der zellulären Signalverarbeitung	272
11.1.2	Signalwirkungen über kurze und lange Distanzen	273
11.1.3	Die drei Stadien der zellulären Signaltransduktion: <i>Ein Überblick</i>	275
11.2	Signalwahrnehmung: Ein Signalmolekül bindet an ein Rezeptorprotein	276
11.2.1	Rezeptorproteine in der Plasmamembran	276
11.2.2	Intrazelluläre Rezeptorproteine	279
11.3	Signalübertragung: Wechselwirkungen auf molekularer Ebene leiten stufenweise das Signal vom Rezeptor an Zielmoleküle in der Zelle weiter	281
11.3.1	Signaltransduktionswege	281
11.3.2	Proteinphosphorylierung und Proteindephosphorylierung	281
11.3.3	Kleine Moleküle und Ionen als sekundäre Botenstoffe	282
11.4	Die zelluläre Antwort: Signalwege steuern die Transkription oder Aktivitäten im Cytoplasma	286
11.4.1	Regulationen im Zellkern und im Cytoplasma	286
11.4.2	Feinabstimmung der Antwort auf Signale	287
11.5	Die Verschaltung verschiedener Signaltransduktionswege bei der Apoptose	291
11.5.1	Apoptose beim Fadenwurm <i>Caenorhabditis elegans</i>	292
11.5.2	Die verschiedenen Wege der Apoptose und ihre auslösenden Signale	292

## **Kapitel 12 Der Zellzyklus** 299

12.1	Aus der Zellteilung gehen genetisch identische Tochterzellen hervor	300
12.1.1	Die Organisation des genetischen Materials in der Zelle	301
12.1.2	Die Verteilung der Chromosomen bei der eukaryontischen Zellteilung	301
12.2	Der Wechsel von Mitose und Interphase im Zellzyklus	303
12.2.1	Die Phasen des Zellzyklus	303
12.2.2	Der Spindelapparat	303
12.2.3	Die Cytokinese	308
12.2.4	Zweiteilung bei Bakterien	308
12.2.5	Die Evolution der Mitose	310
12.3	Der eukaryontische Zellzyklus wird durch ein molekulares Kontrollsystem gesteuert	311
12.3.1	Hinweise auf die Existenz cytoplasmatischer Signale	311
12.3.2	Das Zellzyklus-Kontrollsystem	312
12.3.3	Der Verlust der Zellzyklus-Kontrolle bei Krebszellen	316

<b>Teil III</b>	<b>Genetik</b>	<b>323</b>
<b>Kapitel 13</b>	<b>Meiose und geschlechtliche Fortpflanzung</b>	<b>325</b>
13.1	Gene werden auf Chromosomen von den Eltern an ihre Nachkommen weitergegeben . . . . .	326
13.1.1	Die Vererbung von Genen . . . . .	326
13.1.2	Ein Vergleich von geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Fortpflanzung . . . . .	327
13.2	Befruchtung und Meiose wechseln sich beim geschlechtlichen Generationswechsel ab . . . . .	328
13.2.1	Die Chromosomensätze menschlicher Zellen . . . . .	328
13.2.2	Das Verhalten der Chromosomensätze im menschlichen Lebenszyklus . . . . .	330
13.2.3	Die Vielfalt der Lebenszyklen bei der geschlechtlichen Fortpflanzung . . . . .	331
13.3	In der Meiose wird der diploide auf einen haploiden Chromosomensatz reduziert . . . . .	332
13.3.1	Die Meiosestadien . . . . .	332
13.3.2	Mitose und Meiose im Vergleich . . . . .	333
13.4	Die geschlechtliche Fortpflanzung erhöht die genetische Variabilität – ein wichtiger Motor der Evolution. . . . .	339
13.4.1	Ursprung der genetischen Variabilität unter Nachkommen . . . . .	339
13.4.2	Die Bedeutung der genetischen Variabilität von Populationen für die Evolution . . . . .	341
<b>Kapitel 14</b>	<b>Mendel und das Genkonzept</b>	<b>345</b>
14.1	Das wissenschaftliche Vorgehen von Mendel führte zu den Gesetzen der Vererbung. . . . .	346
14.1.1	Mendels quantitativ-experimenteller Ansatz. . . . .	346
14.1.2	Die Spaltungsregel (Zweite Mendel'sche Regel) . . . . .	347
14.1.3	Die Unabhängigkeitsregel (Dritte Mendel'sche Regel). . . . .	353
14.2	Die Mendel'sche Vererbung von Merkmalen unterliegt den Gesetzen der Statistik . . . . .	355
14.2.1	Die Anwendung von Multiplikations- und Additionsregel auf Einfaktor-Kreuzungen . . . . .	355
14.2.2	Die Lösung komplexer genetischer Probleme mit den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung . . . . .	356
14.3	Die Mendel'schen Regeln reichen nicht zur Erklärung aller Erbgänge aus . . . . .	357
14.3.1	Die Erweiterung der Mendel'schen Regeln bei einzelnen Genen . . . . .	358
14.3.2	Die Erweiterung der Mendel'schen Regeln auf die Wechselwirkungen von Genen . . . . .	360
14.3.3	Gene und Erziehung: Der Einfluss der Umwelt auf den Phänotyp. . . . .	361
14.3.4	Eine integrierte „Mendel'sche Sicht“ auf die Vererbung und die genetische Variabilität . . . . .	362
14.4	Auch die Vererbung beim Menschen folgt den Mendel'schen Regeln . . . . .	364
14.4.1	Die Analyse von Stammbäumen. . . . .	364
14.4.2	Rezessive Erbkrankheiten . . . . .	365
14.4.3	Dominante Erbkrankheiten . . . . .	367
14.4.4	Multifaktorielle Krankheiten . . . . .	368
14.4.5	Genetische Untersuchungen und Beratung . . . . .	369
<b>Kapitel 15</b>	<b>Chromosomen bilden die Grundlage der Vererbung</b>	<b>379</b>
15.1	Die Chromosomen bilden die strukturelle Grundlage der Mendel'schen Vererbung . . . . .	380
15.1.1	Ein Beispiel für einen wissenschaftlichen Ansatz: Thomas Hunt Morgan und die Verknüpfung der Mendel'schen Regeln mit dem Verhalten der Chromosomen bei der Zellteilung. . . . .	382
15.2	Die Eigenschaften der Geschlechtschromosomen . . . . .	384
15.2.1	Die Geschlechtschromosomen . . . . .	384
15.2.2	Die Vererbung geschlechtsgebundener Gene. . . . .	385
15.2.3	Die Inaktivierung eines X-Chromosoms bei weiblichen Säugetieren . . . . .	386
15.3	Die Vererbung gekoppelter Gene auf einem Chromosom . . . . .	387
15.3.1	Der Einfluss der Genkopplung auf die Vererbung . . . . .	387
15.3.2	Rekombination und Kopplung . . . . .	388
15.3.3	Die Kartierung von Genen anhand von Rekombinationshäufigkeiten: <i>ein wissenschaftlicher Ansatz</i> . . . . .	391



15.4	Abweichungen in der Zahl oder Struktur von Chromosomen verursachen einige bekannte Erbkrankheiten . . . . .	395
15.4.1	Abweichende Chromosomenzahlen . . . . .	395
15.4.2	Abweichende Chromosomenstrukturen . . . . .	396
15.4.3	Menschliche Erbkrankheiten, die auf Veränderungen in der Chromosomenzahl oder -struktur zurückzuführen sind . . . . .	397
15.5	Erbgänge, die nicht den Mendel'schen Regeln folgen . . . . .	399
15.5.1	Genomische Prägung . . . . .	399
15.5.2	Genome von Organellen und ihre Vererbung . . . . .	400
<b>Kapitel 16</b>	<b>Die molekularen Grundlagen der Vererbung</b>	<b>405</b>
16.1	Die DNA ist die Erbsubstanz . . . . .	406
16.1.1	Die Suche nach der Erbsubstanz: <i>Wissenschaftliche Forschung</i> . . . . .	406
16.1.2	Ein Strukturmodell der DNA: <i>Wissenschaftliche Forschung</i> . . . . .	411
16.2	Bei der DNA-Replikation und -Reparatur arbeiten viele Proteine zusammen . . . . .	414
16.2.1	Das Grundprinzip: Basenpaarung mit einem Matrizenstrang . . . . .	414
16.2.2	Die molekularen Mechanismen der DNA-Replikation . . . . .	415
16.2.3	Korrekturlesen und DNA-Reparatur . . . . .	422
16.2.4	Die evolutionäre Bedeutung veränderter DNA-Nucleotide . . . . .	423
16.2.5	Die Replikation an den Enden linearer DNA-Moleküle . . . . .	424
16.3	Ein Chromosom besteht aus einem mit Proteinen verpackten DNA-Molekül . . . . .	425
<b>Kapitel 17</b>	<b>Vom Gen zum Protein</b>	<b>433</b>
17.1	Die Verbindung von Genen und Proteinen über Transkription und Translation . . . . .	434
17.1.1	Die Untersuchung von Stoffwechselstörungen . . . . .	434
17.1.2	Die Grundlagen der Transkription und der Translation . . . . .	437
17.1.3	Der genetische Code . . . . .	439
17.2	Transkription – die DNA-abhängige RNA-Synthese: <i>Eine nähere Betrachtung</i> . . . . .	442
17.2.1	Die molekularen Komponenten des Transkriptionsapparats . . . . .	442
17.2.2	Die Synthese eines RNA-Transkripts . . . . .	443
17.3	mRNA-Moleküle werden in eukaryontischen Zellen nach der Transkription modifiziert . . . . .	445
17.3.1	Veränderung der Enden einer eukaryontischen mRNA . . . . .	445
17.3.2	Mosaikgene und RNA-Spleißen . . . . .	446
17.4	Translation – die RNA-abhängige Polypeptidsynthese: <i>Eine nähere Betrachtung</i> . . . . .	448
17.4.1	Die molekularen Komponenten des Translationsapparats . . . . .	448
17.4.2	Die Biosynthese von Polypeptiden . . . . .	452
17.4.3	Vom Polypeptid zum funktionsfähigen Protein . . . . .	456
17.4.4	Die gleichzeitige Synthese vieler Polypeptide in Bakterien und Eukaryonten . . . . .	457
17.5	Punktmutationen können Struktur und Funktion eines Proteins beeinflussen . . . . .	459
17.5.1	Verschiedene Formen der Punktmutation . . . . .	459
17.5.2	Neue Mutationen und Mutagene . . . . .	461
17.5.3	Was ist ein Gen? <i>Eine neue Betrachtung</i> . . . . .	461
<b>Kapitel 18</b>	<b>Regulation der Genexpression</b>	<b>467</b>
18.1	Bakterien passen ihr Transkriptionsmuster den wechselnden Umweltbedingungen an . . . . .	468
18.1.1	Das Operon-Konzept . . . . .	469
18.1.2	Reprimierbare und induzierbare Operone: Zwei Formen der negativen Regulation der Genexpression . . . . .	470
18.1.3	Positive Regulation der Genexpression . . . . .	472
18.2	Die Expression eukaryontischer Gene kann auf verschiedenen Stufen reguliert werden . . . . .	473
18.2.1	Differenzielle Genexpression . . . . .	473
18.2.2	Regulation der Chromatinstruktur . . . . .	474
18.2.3	Regulation der Transkriptionsinitiation . . . . .	475
18.2.4	Mechanismen der posttranskriptionalen Regulation . . . . .	481

18.3	Die Regulation der Genexpression durch nicht-codierende RNAs . . . . .	483
18.3.1	Die Wirkung von Mikro-RNAs und kleinen interferierenden RNAs auf die mRNA . . .	483
18.3.2	Chromatiumbau und Stilllegung der Transkription durch nicht-codierende RNAs . . .	484
18.3.3	Die Bedeutung kleiner nicht-codierender RNAs für die Evolution . . . . .	485
18.4	Die verschiedenen Zelltypen in einem Lebewesen entstehen nach einem Programm zur differenziellen Genexpression . . . . .	485
18.4.1	Ein genetisches Programm für die Embryonalentwicklung . . . . .	485
18.4.2	Cytoplasmatische Determinanten und Induktionssignale . . . . .	486
18.4.3	Die schrittweise Regulation der Genexpression während der Zelldifferenzierung . . . .	487
18.4.4	Musterbildung zur Festlegung des Körperbaus . . . . .	489
18.5	Krebs entsteht durch genetische Veränderungen, die den Zellzyklus deregulieren . . . . .	493
18.5.1	Gene und Krebs . . . . .	493
18.5.2	Die Störung zellulärer Signalketten . . . . .	494
18.5.3	Das Mehrstufenmodell der Krebsentstehung . . . . .	495
18.5.4	Genetische Veranlagung und krebsfördernde Umweltbedingungen . . . . .	497
18.5.5	Die Rolle von Viren bei einigen Krebsarten . . . . .	499
<b>Kapitel 19 Viren</b>		<b>505</b>
19.1	Ein Virus besteht aus einer von einer Proteinhülle eingeschlossenen Nucleinsäure . . . . .	506
19.1.1	Die Entdeckung der Viren: Ein wissenschaftlicher Exkurs . . . . .	506
19.2	Viren vermehren sich nur in Wirtszellen . . . . .	509
19.2.1	Grundlagen der Virenvermehrung . . . . .	509
19.2.2	Die Phagenvermehrung . . . . .	510
19.2.3	Vermehrungszyklen von Tierviren . . . . .	512
19.2.4	Die Evolution von Viren . . . . .	516
19.3	Viren, Viroide und Prionen als Pathogene von Tieren und Pflanzen . . . . .	517
19.3.1	Viruserkrankungen von Tieren . . . . .	517
19.3.2	Das Auftreten neuer Viren . . . . .	518
19.3.3	Viruserkrankungen bei Pflanzen . . . . .	522
19.3.4	Viroide und Prionen: Die einfachsten Krankheitserreger . . . . .	522
<b>Kapitel 20 Gentechnik in der Biotechnologie</b>		<b>527</b>
20.1	DNA-Sequenzierung und Klonierung sind wichtige Werkzeuge der Gentechnik und der biologischen Forschung . . . . .	528
20.1.1	DNA-Sequenzierung . . . . .	528
20.1.2	Die Vervielfältigung von Genen und anderen DNA-Fragmenten . . . . .	532
20.1.3	Die Verwendung von Restriktionsenzymen zur Herstellung rekombinanter Plasmide . .	533
20.1.4	Die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) und ihre Verwendung bei der DNA-Klonierung . . .	535
20.1.5	Die Klonierung und Expression eukaryontischer Gene . . . . .	537
20.2	Die Verwendung der Gentechnik zur Untersuchung der Expression und Funktion von Genen . .	538
20.2.1	Genexpressionsanalyse . . . . .	539
20.2.2	Die Aufklärung der Funktion eines Gens . . . . .	543
20.3	Die Klonierung von Organismen zur Bereitstellung von Stammzellen für die Forschung und andere Anwendungen . . . . .	545
20.3.1	Die Klonierung von Pflanzen aus Einzelzellkulturen . . . . .	545
20.3.2	Die Klonierung von Tieren: Zellkerntransplantation . . . . .	546
20.3.3	Tierische Stammzellen . . . . .	548
20.4	Die Gentechnik beeinflusst unser Leben . . . . .	551
20.4.1	Medizinische Anwendungen . . . . .	551
20.4.2	Genetische Profile in der Gerichtsmedizin . . . . .	554
20.4.3	Umweltsanierung . . . . .	556
20.4.4	Landwirtschaftliche Anwendungen . . . . .	556
<b>Kapitel 21 Genome und ihre Evolution</b>		<b>565</b>
21.1	Die Entwicklung von schnelleren und billigeren Techniken zur Genomsequenzierung . . . . .	566
21.2	Genomanalyse mithilfe der Bioinformatik . . . . .	568
21.2.1	Zentralisierte Ressourcen zur Analyse von Genomsequenzen . . . . .	568

21.2.2	Das Aufspüren proteincodierender Gene in DNA-Sequenzen. . . . .	569
21.2.3	Untersuchungen von Genen und ihren Produkten in komplexen Systemen . . . . .	570
21.3	Genome unterscheiden sich in der Größe und der Zahl der Gene sowie in der Gendichte . . . .	572
21.3.1	Genomgröße . . . . .	573
21.3.2	Genzahl . . . . .	573
21.3.3	Gendichte und nicht-codierende DNA . . . . .	574
21.4	Das Genom eukaryontischer Vielzeller enthält viel nicht-codierende DNA und viele Multigenfamilien. . . . .	575
21.4.1	Transponierbare Elemente und verwandte Sequenzen . . . . .	575
21.4.2	Andere repetitive DNA-Sequenzen. . . . .	577
21.4.3	Gene und Multigenfamilien . . . . .	578
21.5	Genomevolution durch Duplikation, Umlagerung und Mutation der DNA. . . . .	579
21.5.1	Duplikation ganzer Chromosomensätze . . . . .	579
21.5.2	Veränderungen der Chromosomenstruktur . . . . .	580
21.5.3	Duplikation und Divergenz einzelner Genbereiche . . . . .	581
21.5.4	Umlagerungen innerhalb von Genen: Exonduplikation und Exonaustausch („exon shuffling“) . . . . .	584
21.5.5	Wie transponierbare genetische Elemente zur Genomevolution beitragen. . . . .	585
21.6	Der Vergleich von Genomsequenzen liefert Hinweise auf evolutionäre und entwicklungsbiologische Mechanismen. . . . .	586
21.6.1	Die Bedeutung von Genomvergleichen . . . . .	586
21.6.2	Sequenzvergleiche geben Aufschluss über Entwicklungsprozesse. . . . .	590

## **Teil IV    Evolutionsmechanismen** 597

### **Kapitel 22    Die darwinistische Sicht des Lebens: Evolutionstheorie – Abstammung mit Modifikation** 599

22.1	Die Darwin'sche Theorie widersprach der traditionellen Ansicht, die Erde sei jung und von unveränderlichen Arten bewohnt . . . . .	601
22.1.1	<i>Scala naturae</i> und die Klassifikation der Arten. . . . .	601
22.1.2	Vorstellungen über die Veränderungen von Organismen im Lauf der Zeit . . . . .	602
22.1.3	Lamarcks Evolutionstheorie . . . . .	602
22.2	Die gemeinsame Abstammung und die Variationen zwischen Individuen, auf die die natürliche Selektion wirkt, erklären die vielfältigen Anpassungen von Organismen . . . . .	603
22.2.1	Darwins Feldforschung . . . . .	604
22.2.2	Die Entstehung der Arten . . . . .	606
22.3	Die Evolutionstheorie wird durch eine Vielzahl wissenschaftlicher Befunde gestützt . . . . .	609
22.3.1	Direkte Beobachtungen evolutionärer Veränderungen . . . . .	610
22.3.2	Homologie . . . . .	612
22.3.3	Fossilbelege . . . . .	616
22.3.4	Biogeografie . . . . .	617
22.3.5	Die Evolutionstheorie – Begriffsanalyse. . . . .	618

### **Kapitel 23    Die Evolution von Populationen** 623

23.1	Genetische Variabilität ermöglicht Evolution . . . . .	624
23.1.1	Genetische Variabilität . . . . .	625
23.1.2	Wie wird genetische Variabilität erzeugt? . . . . .	626
23.2	Mithilfe der Hardy-Weinberg-Gleichung lässt sich herausfinden, ob in einer Population Evolution stattfindet . . . . .	628
23.2.1	Genpool und Allelfrequenzen. . . . .	628
23.2.2	Das Hardy-Weinberg-Gesetz . . . . .	629
23.3	Natürliche Selektion, genetische Drift und Genfluss können die Allelfrequenzen in einer Population verändern . . . . .	633
23.3.1	Natürliche Selektion . . . . .	633
23.3.2	Genetische Drift . . . . .	633
23.3.3	Genfluss . . . . .	636

23.4	Die natürliche Selektion ist der einzige Mechanismus, der beständig für eine adaptive Evolution sorgt . . . . .	637
23.4.1	Eine genauere Betrachtung der natürlichen Selektion . . . . .	638
23.4.2	Die Schlüsselrolle der natürlichen Selektion bei der adaptiven Evolution . . . . .	638
23.4.3	Sexuelle Selektion . . . . .	640
23.4.4	Erhaltung der genetischen Variabilität: Balancierter Polymorphismus . . . . .	641
23.4.5	Warum die natürliche Selektion keine „perfekten“ Organismen hervorbringen kann . . . . .	643
<b>Kapitel 24 Die Entstehung der Arten</b>		<b>649</b>
24.1	Das biologische Artkonzept betont die reproduktiven Isolationsmechanismen . . . . .	650
24.1.1	Das biologische Artkonzept . . . . .	650
24.1.2	Weitere alternative Artkonzepte . . . . .	654
24.2	Artbildung mit und ohne geografische Isolation . . . . .	655
24.2.1	Allopatrische Artbildung . . . . .	655
24.2.2	Sympatrische Artbildung . . . . .	659
24.2.3	Allopatrische und sympatrische Artbildung: <i>Eine Zusammenfassung</i> . . . . .	661
24.3	Hybridzonen ermöglichen die Analyse von Faktoren, die zur reproduktiven Isolation führen. . . . .	662
24.3.1	Evolutionenprozesse in Hybridzonen . . . . .	662
24.3.2	Zeitliche Entwicklung von Hybridzonen . . . . .	663
24.4	Artbildung kann schnell oder langsam erfolgen und aus Veränderungen weniger oder vieler Gene resultieren . . . . .	666
24.4.1	Der zeitliche Verlauf der Artbildung . . . . .	666
24.4.2	Die Genetik der Artbildung . . . . .	668
24.4.3	Von der Artbildung zur Makroevolution . . . . .	669
<b>Kapitel 25 Die Geschichte des Lebens auf der Erde</b>		<b>673</b>
25.1	Die Umweltbedingungen auf der jungen Erde ermöglichten die Entstehung des Lebens . . . . .	674
25.1.1	Synthese organischer Verbindungen zu Beginn der Erdentwicklung . . . . .	674
25.1.2	Abiotische Synthese von Makromolekülen . . . . .	676
25.1.3	Protobionten . . . . .	676
25.1.4	Selbstreplizierende RNA und die Frühzeit der natürlichen Selektion . . . . .	677
25.2	Fossilfunde dokumentieren die Geschichte des Lebens . . . . .	677
25.2.1	Die Fossilfunde . . . . .	678
25.2.2	Datierung von Gesteinen und Fossilien . . . . .	679
25.2.3	Die Entstehung neuer Organismengruppen . . . . .	680
25.3	Zu den Schlüsselereignissen in der Evolution gehören die Entstehung einzelliger und vielzelliger Organismen sowie die Besiedlung des Festlands . . . . .	682
25.3.1	Die ersten einzelligen Organismen . . . . .	683
25.3.2	Der Ursprung der Vielzelligkeit . . . . .	685
25.3.3	Die Besiedlung des Festlands . . . . .	686
25.4	Aufstieg und Niedergang dominanter Gruppen in Zusammenhang mit Kontinentaldrift, Massenaussterben und adaptiver Radiation . . . . .	687
25.4.1	Kontinentaldrift . . . . .	689
25.4.2	Massenaussterben . . . . .	691
25.4.3	Adaptive Radiationen . . . . .	694
25.5	Veränderungen im Körperbau können durch Änderungen in der Sequenz und Regulation von Entwicklungsgenen entstehen . . . . .	696
25.5.1	Evolutionäre Effekte von Entwicklungsgenen . . . . .	696
25.5.2	Evolution von Entwicklungsprozessen . . . . .	697
25.6	Evolution ist nicht zielorientiert . . . . .	700
25.6.1	Evolutionäre Neuerungen . . . . .	700
25.6.2	Evolutionäre Trends . . . . .	701

<b>Kapitel 26</b>	<b>Der phylogenetische Stammbaum der Lebewesen</b>	<b>709</b>
26.1	Phylogenien (Stammbäume) zeigen evolutionäre Verwandtschaftsbeziehungen . . . . .	710
26.1.1	Die binominale Nomenklatur . . . . .	711
26.1.2	Hierarchische Klassifikation . . . . .	711
26.1.3	Der Zusammenhang zwischen Klassifikation und Phylogenie . . . . .	712
26.1.4	Was sagen phylogenetische Stammbäume aus? . . . . .	714
26.1.5	Bedeutung und Anwendung der Phylogenie . . . . .	714
26.2	Die Ableitung der Stammesgeschichte aus morphologischen und molekularbiologischen Befunden . . . . .	715
26.2.1	Morphologische und molekulare Homologien . . . . .	716
26.2.2	Homologie und Konvergenz . . . . .	716
26.2.3	Bewertung molekularer Homologien . . . . .	717
26.3	Gemeinsame abgeleitete Merkmale (evolutive Neuheiten) erlauben die Rekonstruktion phylogenetischer Stammbäume . . . . .	718
26.3.1	Kladistik . . . . .	718
26.3.2	Phylogenetische Stammbäume mit proportionaler Länge der Äste . . . . .	721
26.3.3	Maximale Sparsamkeit und maximale Wahrscheinlichkeit ( <i>maximum parsimony</i> und <i>maximum likelihood</i> ). . . . .	722
26.3.4	Phylogenetische Stammbäume als Hypothesen . . . . .	724
26.4	Das Genom als Beleg für die evolutive Vergangenheit eines Lebewesens . . . . .	725
26.4.1	Genduplikationen und Genfamilien . . . . .	726
26.4.2	Evolution von Genomen . . . . .	727
26.5	Mit molekularen Uhren kann man den zeitlichen Ablauf der Evolution verfolgen. . . . .	727
26.5.1	Molekulare Uhren . . . . .	727
26.5.2	Der Ursprung von HIV wurde mithilfe der molekularen Uhr aufgeklärt . . . . .	729
26.6	Neue Befunde und die stetige Weiterentwicklung unserer Kenntnisse über den Stammbaum der Organismen . . . . .	730
26.6.1	Von zwei Organismenreichen zu drei Großgruppen, sogenannten „Domänen“. . . . .	730
26.6.2	Die besondere Bedeutung horizontalen Gentransfers . . . . .	731
<b>Kapitel 27</b>	<b>Bacteria und Archaea</b>	<b>737</b>
27.1	Strukturelle und funktionelle Anpassung als Erfolgsrezept der Prokaryonten . . . . .	738
27.1.1	Zelloberflächenstrukturen . . . . .	739
27.1.2	Beweglichkeit . . . . .	741
27.1.3	Innerer Aufbau und Genomorganisation . . . . .	742
27.1.4	Fortpflanzung und Anpassung . . . . .	742
27.2	Schnelle Vermehrung, Mutation und Rekombination von Genen als Ursache der genetischen Vielfalt von Prokaryonten . . . . .	743
27.2.1	Schnelle Vermehrung und Mutation . . . . .	743
27.2.2	Rekombination von Genen . . . . .	744
27.3	Evolution vielfältiger Anpassungen in der Ernährung und im Stoffwechsel der Prokaryonten. . . . .	747
27.3.1	Rolle des Sauerstoffs im Stoffwechsel . . . . .	748
27.3.2	Stickstoff-Stoffwechsel . . . . .	749
27.3.3	Kooperation im Stoffwechsel . . . . .	749
27.4	Radiäre Entwicklung der Prokaryonten in mehrere Stammeslinien. . . . .	750
27.4.1	Überblick über die prokaryontische Diversität . . . . .	750
27.4.2	Stammbegriff bei Prokaryonten. . . . .	750
27.4.3	Kultivierbarkeit von Prokaryonten und Phylogenie nicht-kultivierter Prokaryontenarten . . . . .	750
27.4.4	Der phylogenetische Stammbaum der Prokaryonten . . . . .	751
27.4.5	Bacteria . . . . .	754
27.4.6	Archaea . . . . .	755

27.5	Kommunikation mit der Umwelt . . . . .	757
27.5.1	Zweikomponenten-Systeme . . . . .	757
27.5.2	Chemotaxis . . . . .	758
27.6	Bedeutung der Prokaryonten für die Biosphäre . . . . .	759
27.6.1	Chemisches Recycling. . . . .	759
27.6.2	Ökologische Wechselwirkungen. . . . .	760
27.7	Schädliche und nützliche Auswirkungen der Prokaryonten auf den Menschen . . . . .	761
27.7.1	Mutualistische Bakterien . . . . .	761
27.7.2	Bakterielle Pathogene . . . . .	761
27.7.3	Prokaryonten in Forschung und Technik. . . . .	762

**Kapitel 28 Protisten 769**

28.1	Die meisten Eukaryonten sind Einzeller . . . . .	770
28.1.1	Struktur- und Funktionsvielfalt bei Protisten . . . . .	771
28.1.2	Endosymbiose in der Evolution der Eukaryonten . . . . .	771
28.1.3	Die vier Übergruppen der Eukaryonten . . . . .	772
28.2	Excavata: Protisten mit abgewandelten Mitochondrien und bemerkenswerten Flagellen . . . . .	776
28.2.1	Diplomonadida und Parabasalia. . . . .	776
28.2.2	Euglenozoa. . . . .	777
28.3	Die „SAR“-Übergruppe: Ihre Einführung wird durch neue genomweite Sequenzanalysen unterstützt . . . . .	778
28.3.1	Stramenopilata. . . . .	778
28.3.2	Alveolata . . . . .	782
28.3.3	Rhizaria . . . . .	786
28.4	Archaeplastida: Die engsten Verwandten der Landpflanzen – Rotalgen und Grünalgen . . . . .	787
28.4.1	Rhodophyta (Rotalgen) . . . . .	787
28.4.2	Chloroplastida (Chlorobionta, Viridiplantae, Grüne Pflanzen). . . . .	788
28.5	Unikonta: Protisten, die eng mit Pilzen und Tieren verwandt sind . . . . .	790
28.5.1	Amoebozoa . . . . .	792
28.5.2	Opisthokonta . . . . .	794
28.6	Protisten spielen eine Schlüsselrolle in allen ökologischen Wechselbeziehungen . . . . .	794
28.6.1	Symbiotische und parasitische Protisten . . . . .	794
28.6.2	Photosynthetisch aktive Protisten . . . . .	795

**Kapitel 29 Die Vielfalt der Pflanzen I: Wie Pflanzen das Land eroberten 801**

29.1	Die Entstehung der Landpflanzen aus Grünalgen . . . . .	802
29.1.1	Morphologische und molekularbiologische Befunde . . . . .	802
29.1.2	Notwendige Anpassungen beim Übergang an Land . . . . .	803
29.1.3	Schlüsselinnovationen bei Landpflanzen . . . . .	806
29.1.4	Ursprung und Radiation der Landpflanzen . . . . .	806
29.2	Moose haben einen vom Gametophyten dominierten Lebenszyklus . . . . .	809
29.2.1	Die Gametophyten der Bryophyten . . . . .	810
29.2.2	Die Sporophyten der Bryophyten. . . . .	811
29.2.3	Die ökologische und ökonomische Bedeutung der Moose . . . . .	813
29.3	Die ersten hochwüchsigen Pflanzen: Farne und andere samenlose Gefäßpflanzen . . . . .	814
29.3.1	Entstehung und Merkmale der Gefäßpflanzen. . . . .	814
29.3.2	Klassifikation der samenlosen Gefäßpflanzen (Pteridophyten, Farngewächse). . . . .	818
29.3.3	Die Bedeutung der samenlosen Gefäßpflanzen . . . . .	820

**Kapitel 30 Die Vielfalt der Pflanzen II: Evolution der Samenpflanzen 825**

30.1	Samen und Pollen: Schlüsselanpassungen an das Landleben . . . . .	826
30.1.1	Vorteile reduzierter Gametophyten . . . . .	826
30.1.2	Heterosporie ist bei Samenpflanzen die Regel. . . . .	827
30.1.3	Samenanlagen und die Produktion der Eizellen . . . . .	827
30.1.4	Pollen und die Bildung von Spermazellen . . . . .	828
30.1.5	Der Vorteil von Samen in der Evolution der Landpflanzen . . . . .	828

30.2	Die Zapfen der Gymnospermen tragen „nackte“, direkt zugängliche Samenanlagen	830
30.2.1	Frühe Samenpflanzen und die Evolution der Gymnospermen	830
30.2.2	Der Entwicklungszyklus einer Kiefer	831
30.3	Die wichtigsten Weiterentwicklungen der Angiospermen sind Blüten und Früchte	835
30.3.1	Merkmale der Angiospermen	835
30.3.2	Die Evolution der Angiospermen	839
30.3.3	Die Vielfalt der Angiospermen	841
30.4	Die Bedeutung der Samenpflanzen für die Menschheit	842
30.4.1	Produkte aus Samenpflanzen	842
30.4.2	Gefahren für die Artenvielfalt der Pflanzen	846

## **Kapitel 31 Pilze** 851

31.1	Pilze sind heterotroph und nehmen ihre Nährstoffe durch Absorption auf	852
31.1.1	Ernährung und Ökologie	852
31.1.2	Aufbau des Pilzkörpers	852
31.2	Pilze nutzen Sporen für ihre geschlechtliche oder ungeschlechtliche Vermehrung	856
31.2.1	Die geschlechtliche Fortpflanzung	856
31.2.2	Die ungeschlechtliche Vermehrung	857
31.3	Die Entwicklung der Pilze aus einem im Wasser lebenden, begeißelten Protisten	858
31.3.1	Der Ursprung der Pilze	858
31.3.2	Die divergente Entwicklung früher Pilzgruppen	859
31.3.3	Der Wechsel vom Wasser zum Land	859
31.4	Die verschiedenen Abstammungslinien der Pilze	861
31.4.1	Chytridien	861
31.4.2	Zygomyceten	861
31.4.3	Glomeromyceten	862
31.4.4	Ascomyceten	863
31.4.5	Basidiomyceten	865
31.5	Die zentrale Bedeutung der Pilze für Nährstoffkreisläufe, ökologische Wechselbeziehungen und den Menschen	867
31.5.1	Pilze als Destruenten	867
31.5.2	Pilze als Mutualisten	867
31.5.3	Pilze als Krankheitserreger und Parasiten	870
31.5.4	Der praktische Nutzen von Pilzen	871

## **Kapitel 32 Eine Einführung in die Diversität und Evolution der Metazoa** 875

32.1	Metazoa sind vielzellige heterotrophe Eukaryonten mit Geweben, die sich aus embryonalen Keimblättern entwickeln	876
32.1.1	Ernährungsweise	876
32.1.2	Zellstruktur und Zellspezialisierung	877
32.1.3	Fortpflanzung und Entwicklung	877
32.2	Die Evolutionsgeschichte der Metazoa umfasst mehr als eine halbe Milliarde Jahre	879
32.2.1	Schritte zur Entstehung der vielzelligen Tiere	879
32.2.2	Neoproterozoikum (vor einer Milliarde bis 542 Millionen Jahren)	880
32.2.3	Paläozoikum (vor 542–251 Millionen Jahren)	881
32.2.4	Mesozoikum (vor 251–65,5 Millionen Jahren)	884
32.2.5	Känozoikum (vor 65,5 Millionen Jahren bis zur Gegenwart)	884
32.3	Tiere lassen sich über „Baupläne“ beschreiben	884
32.3.1	Symmetrie	885
32.3.2	Gewebe	885
32.3.3	Leibeshöhlen	885
32.3.4	Proterostome und deuterostome Entwicklung	886
32.4	Aus neuen molekularen und morphologischen Daten erwachsen fortlaufend neue Erkenntnisse über die Phylogenie der Tiere	888
32.4.1	Die evolutive Differenzierung der Metazoa	888
32.4.2	Künftige Richtungen der phylogenetisch-systematischen Forschung	891

<b>Kapitel 33</b>	<b>Eine Einführung in die wirbellosen Tiere</b>	<b>895</b>
33.1	Porifera (Schwämme) sind Tiere ohne echte Gewebe . . . . .	900
33.2	Cnidaria (Nesseltiere) bilden ein phylogenetisch altes Metazoontaxon . . . . .	901
	33.2.1 Anthozoa . . . . .	903
	33.2.2 Tesserazoa (Medusozoa) . . . . .	903
33.3	Spiralia, ein Taxon, das anhand morphologischer und molekularer Daten identifiziert wurde, weist das breiteste Spektrum aller Baupläne im Tierreich auf. . . . .	905
	33.3.1 Plathelminthes (Plattwürmer) . . . . .	905
	33.3.2 Rotatoria (Rotifera; Rädertiere) . . . . .	909
	33.3.3 Lophotrochozoa . . . . .	910
33.4	Ecdysozoa sind die artenreichste Tiergruppe . . . . .	919
	33.4.1 Nematoda (Fadenwürmer) . . . . .	919
	33.4.2 Arthropoda (Gliederfüßer) . . . . .	920
33.5	Echinodermata und Chordata sind Deuterostomia . . . . .	930
	33.5.1 Echinodermata (Stachelhäuter) . . . . .	930
	33.5.2 Chordata (Chordatiere) . . . . .	932
<b>Kapitel 34</b>	<b>Herkunft und Evolution der Wirbeltiere</b>	<b>937</b>
34.1	Chordaten haben eine Chorda dorsalis und ein dorsales Neuralrohr. . . . .	938
	34.1.1 Abgeleitete Chordatenmerkmale. . . . .	939
	34.1.2 Acrania/Cephalochordata (Lanzettfischchen) . . . . .	941
	34.1.3 Tunicata (Manteltiere) . . . . .	941
	34.1.4 Die frühe Chordatenevolution . . . . .	942
34.2	Craniota sind Chordaten, die einen Schädel und eine Wirbelsäule haben . . . . .	943
	34.2.1 Abgeleitete Craniotenmerkmale . . . . .	943
	34.2.2 Cyclostomata/Agnatha (Rundmäuler) . . . . .	944
	34.2.3 Die Frühevolution der Craniota . . . . .	945
	34.2.4 Der Ursprung von Knochen und Zähnen . . . . .	947
34.3	Gnathostomata sind Wirbeltiere, die einen Kieferapparat haben . . . . .	947
	34.3.1 Abgeleitete Merkmale der Gnathostomata . . . . .	947
	34.3.2 Fossile Gnathostomata . . . . .	948
	34.3.3 Chondrichthyes (Knorpelfische: Haie, Rochen und Verwandte) . . . . .	949
	34.3.4 Actinopterygii, Actinistia und Dipnoi (Strahl(en)flosser, Hohlstachler und Lungenfische) . . . . .	951
34.4	Tetrapoda sind Osteognathostomata, die Laufbeine haben. . . . .	954
	34.4.1 Abgeleitete Tetrapodenmerkmale. . . . .	954
	34.4.2 Die Entstehung der Tetrapoden . . . . .	954
	34.4.3 Lissamphibia (Amphibien) . . . . .	956
34.5	Amniota sind Tetrapoda, bei denen ein an das Landleben angepasstes Eistadium entstanden ist . . . . .	959
	34.5.1 Abgeleitete Amniotenmerkmale . . . . .	959
	34.5.2 Frühe Amnioten . . . . .	961
	34.5.3 Sauropsida . . . . .	961
34.6	Mammalia sind Amnioten, die behaart sind und Milch produzieren . . . . .	968
	34.6.1 Abgeleitete Säugetiermerkmale . . . . .	968
	34.6.2 Die frühe Evolution der Säugetiere. . . . .	969
	34.6.3 Monotremata (Kloakentiere) . . . . .	970
	34.6.4 Marsupialia (Beuteltiere) . . . . .	970
	34.6.5 Placentalia, Eutheria (Placentatiere) . . . . .	971
34.7	Menschen sind Säugetiere, die ein großes Gehirn haben und sich auf zwei Beinen fortbewegen . . . . .	976
	34.7.1 Abgeleitete Merkmale des Menschen . . . . .	976
	34.7.2 Die ersten Homininen . . . . .	977
	34.7.3 Die Australopithecinen . . . . .	979
	34.7.4 Zweibeinigkeit (Bipedie) . . . . .	981
	34.7.5 Werkzeuggebrauch . . . . .	982
	34.7.6 Frühe Vertreter der Gattung <i>Homo</i> . . . . .	982
	34.7.7 Die Neandertaler . . . . .	983
	34.7.8 <i>Homo sapiens</i> . . . . .	984



<b>Kapitel 35 Pflanzenstruktur, Wachstum und Entwicklung</b>	<b>993</b>
35.1 Pflanzen sind hierarchisch organisiert – in Form von Organen, Geweben und Zellen . . . . .	994
35.1.1 Die drei Pflanzenorgane: Wurzel, Spross und Blatt . . . . .	994
35.1.2 Abschlussgewebe, Leitgewebe und Grundgewebe. . . . .	998
35.1.3 Grundtypen der Pflanzenzelle . . . . .	1002
35.2 Verschiedene Meristeme erzeugen neue Zellen für das primäre und das sekundäre Wachstum . . . . .	1002
35.3 Primäres Wachstum ist für die Längenzunahme der Wurzeln und Sprosse verantwortlich . . . . .	1004
35.3.1 Primäres Wachstum der Wurzel . . . . .	1004
35.3.2 Primäres Wachstum des Sprosses. . . . .	1006
35.4 Sekundäres Dickenwachstum vergrößert bei verholzten Pflanzen den Umfang von Spross und Wurzel . . . . .	1008
35.4.1 Cambium und sekundäres Leitgewebe . . . . .	1010
35.4.2 Das Korkcambium und die Bildung des Periderms . . . . .	1012
35.4.3 Evolution des sekundären Wachstums. . . . .	1012
35.5 Wachstum, Morphogenese und Differenzierung formen den Pflanzenkörper . . . . .	1012
35.5.1 Molekularbiologie und ihre Modellorganismen revolutionieren die Pflanzenwissenschaften . . . . .	1013
35.5.2 Wachstum – Zellteilung und Zellstreckungsausdehnung. . . . .	1014
35.5.3 Morphogenese und Musterbildung. . . . .	1016
35.5.4 Genexpression und Kontrolle der Zelldifferenzierung . . . . .	1016
35.5.5 Veränderte Entwicklungsprozesse durch Phasenwechsel . . . . .	1017
35.5.6 Genetische Kontrolle der Blütenentwicklung . . . . .	1018
<b>Kapitel 36 Stoffaufnahme und Stofftransport bei Gefäßpflanzen</b>	<b>1023</b>
36.1 Anpassungen zur Aufnahme der Ressourcen waren wichtige Schritte in der Evolution der Landpflanzen . . . . .	1024
36.1.1 Aufbau der Sprossachse und Lichtabsorption . . . . .	1025
36.1.2 Wurzelaufbau und die Aufnahme von Wasser und Mineralstoffen . . . . .	1026
36.2 Der Transport über Kurz- oder Langstrecken erfolgt durch verschiedene Mechanismen . . . . .	1027
36.2.1 Apoplast und Symplast: Zwei kontinuierliche Wege für den Transport . . . . .	1028
36.2.2 Kurzstreckentransport von gelösten Stoffen über Plasmamembranen . . . . .	1028
36.2.3 Kurzstreckentransport von Wasser über die Plasmamembran . . . . .	1029
36.2.4 Massenströmung beim Langstreckentransport. . . . .	1032
36.3 Der Transport von Wasser und Mineralstoffen von der Wurzel zum Spross durch das Xylem wird durch die Transpiration angetrieben . . . . .	1033
36.3.1 Aufnahme von Wasser und Mineralstoffen in die Wurzelzellen . . . . .	1033
36.3.2 Transport von Wasser und Mineralstoffen ins Xylem . . . . .	1033
36.3.3 Massenströmung wird durch negativen Druck im Xylem angetrieben . . . . .	1034
36.3.4 Das Steigen des Xylemsafts durch Massenströmung: <i>Zusammenfassung</i> . . . . .	1038
36.4 Die Transpirationsrate wird durch die Stomata reguliert . . . . .	1038
36.4.1 Stomata als wichtigster Ort des Wasserverlusts. . . . .	1039
36.4.2 Mechanismen der Spaltöffnungsbewegung . . . . .	1039
36.4.3 Reize für die Spaltöffnungsbewegung . . . . .	1040
36.4.4 Auswirkungen der Transpiration auf Welken und Blattemperatur . . . . .	1040
36.4.5 Anpassungen, die den Wasserverlust durch Verdunstung vermindern . . . . .	1040
36.5 Zucker werden im Phloem vom Produktionsort zum Verbrauchs- oder Speicherort transportiert. . . . .	1042
36.5.1 Zucker-Transport – from Source to Sink . . . . .	1042
36.5.2 Massenströmung durch positiven Druck – Der Mechanismus des Assimilat-Transports bei Angiospermen . . . . .	1043
36.6 Der Symplast – ein dynamisches System. . . . .	1044
36.6.1 Plasmodesmen – ständig wechselnde Strukturen . . . . .	1044
36.6.2 Elektrisches „Signaling“ im Phloem. . . . .	1045
36.6.3 Das Phloem – eine „Datenautobahn“ . . . . .	1045

<b>Kapitel 37</b>	<b>Boden und Pflanzenernährung</b>	<b>1049</b>
37.1	Boden – eine lebende, jedoch endliche Ressource	1050
37.1.1	Bodenart	1050
37.1.2	Zusammensetzung des Oberbodens	1051
37.1.3	Bodenschutz und nachhaltige Landwirtschaft	1052
37.2	Pflanzen benötigen für ihren Lebenszyklus essenzielle Nährelemente	1054
37.2.1	Makro- und Mikronährelemente	1055
37.2.2	Symptome des Nährstoffmangels	1057
37.2.3	Verbesserung der Pflanzenernährung durch Gentechnik – einige Beispiele	1057
37.3	Zur Pflanzenernährung tragen auch andere Organismen bei	1058
37.3.1	Bakterien und Pflanzenernährung	1058
37.3.2	Pilze und Pflanzenernährung	1062
37.3.3	Epiphyten, parasitische Pflanzen und carnivore Pflanzen	1064
<b>Kapitel 38</b>	<b>Fortpflanzung und Biotechnologie der Angiospermen</b>	<b>1069</b>
38.1	Blüten, doppelte Befruchtung und Früchte: Wichtige Besonderheiten im Entwicklungszyklus der Angiospermen	1070
38.1.1	Aufbau und Funktion der Blüte	1071
38.1.2	Der Lebenszyklus angiospermer Pflanzen: <i>Ein Überblick</i>	1071
38.1.3	Mechanismen der Pollenübertragung	1075
38.1.4	Vom Samen zur blühenden Pflanze: <i>der Blick ins Detail</i>	1077
38.1.5	Gestalt und Funktion der Frucht	1080
38.2	Sexuelle und asexuelle Fortpflanzung bei Angiospermen	1083
38.2.1	Mechanismen der asexuellen (vegetativen) Fortpflanzung	1083
38.2.2	Vor- und Nachteile von sexueller und asexueller Fortpflanzung	1084
38.2.3	Mechanismen zur Verhinderung der Selbstbefruchtung	1085
38.2.4	Totipotenz, vegetative Vermehrung und Gewebekulturen	1086
38.3	Der Mensch verändert die Nutzpflanzen durch Züchtung und Gentechnik	1088
38.3.1	Pflanzenzüchtung	1088
38.3.2	Biotechnologie und Gentechnik bei Pflanzen	1089
38.3.3	Für und Wider der Pflanzenbiotechnologie	1090
<b>Kapitel 39</b>	<b>Pflanzenreaktionen auf innere und äußere Signale</b>	<b>1097</b>
39.1	Signaltransduktionswege verbinden Signalwahrnehmung und Antwort	1098
39.1.1	Perzeption	1099
39.1.2	Transduktion	1099
39.1.3	Antwort	1100
39.2	Pflanzenhormone koordinieren Wachstum, Entwicklung und Reizantworten	1101
39.2.1	Übersicht über die Phytohormone	1102
39.3	Pflanzen brauchen Licht	1113
39.3.1	Blaulicht-Photorezeptoren	1114
39.3.2	Phytochrome als Photorezeptoren	1114
39.3.3	Biologische Uhren und circadiane Rhythmik	1116
39.3.4	Die Wirkung des Lichts auf die biologische Uhr	1117
39.3.5	Photoperiodismus und Anpassungen an Jahreszeiten	1117
39.4	Pflanzen reagieren, abgesehen von Licht, auf viele weitere Reize	1120
39.4.1	Schwerkraft	1120
39.4.2	Mechanische Reize	1121
39.4.3	Umweltstress	1122
39.5	Reaktionen der Pflanze auf Pathogenbefall und Herbivoren	1125
39.5.1	Verteidigungsstrategien gegen Pathogene	1126
39.5.2	Verteidigungsstrategien gegen Herbivoren	1130

<b>Kapitel 40</b>	<b>Grundprinzipien tierischer Form und Funktion</b>	<b>1137</b>
40.1	Form und Funktion sind bei Tieren auf allen Organisationsebenen eng miteinander korreliert . .	1138
40.1.1	Physikalische Gesetze beeinflussen die Größe und Gestalt von Tieren . . . . .	1138
40.1.2	Austausch mit der Umgebung. . . . .	1139
40.1.3	Hierarchische Organisation der Körperbaupläne. . . . .	1141
40.1.4	Struktur und Funktion von Geweben . . . . .	1142
40.1.5	Koordination und Kontrolle . . . . .	1146
40.2	Regulation des inneren Milieus . . . . .	1147
40.2.1	Regulierer und Konformer. . . . .	1147
40.2.2	Homöostase . . . . .	1148
40.3	Einfluss von Form, Funktion und Verhalten auf homöostatische Prozesse . . . . .	1150
40.3.1	Endothermie und Ektothermie . . . . .	1150
40.3.2	Veränderung der Körpertemperatur . . . . .	1151
40.3.3	Gleichgewicht zwischen Wärmeabgabe und Wärmeaufnahme. . . . .	1151
40.3.4	Anpassung an unterschiedliche Temperaturbereiche . . . . .	1156
40.3.5	Physiologischer Thermostat und Fieber. . . . .	1156
40.4	Energiebedarf eines Tieres in Abhängigkeit von Größe, Aktivität und Umwelt. . . . .	1157
40.4.1	Bereitstellung und Nutzung von Energie . . . . .	1157
40.4.2	Quantifizierung des Energieverbrauchs . . . . .	1157
40.4.3	Minimale Stoffwechselrate und Thermoregulation . . . . .	1158
40.4.4	Faktoren, die die Stoffwechselrate beeinflussen . . . . .	1158
40.4.5	Torpor und Energiesparen. . . . .	1161
<b>Kapitel 41</b>	<b>Hormone und das endokrine System</b>	<b>1169</b>
41.1	Hormone und andere Signalmoleküle, ihre Bindung an die Rezeptoren und die von ihnen ausgelösten spezifischen Reaktionswege . . . . .	1171
41.1.1	Interzelluläre Kommunikation . . . . .	1171
41.1.2	Chemische Klassen von lokalen Regulatoren und Hormonen. . . . .	1172
41.1.3	Signalwege in den Zellen . . . . .	1173
41.1.4	Mehrfachwirkungen von Hormonen. . . . .	1175
41.1.5	Endokrine Gewebe und Organe . . . . .	1176
41.2	Endokrine Hormone: Regulation durch Rückkopplung und Koordination mit dem Nervensystem . . . . .	1177
41.2.1	Einfache hormonelle Reaktionswege . . . . .	1177
41.2.2	Rückkopplungskreise . . . . .	1178
41.2.3	Koordination von Hormon- und Nervensystem bei Wirbellosen . . . . .	1178
41.2.4	Koordination von Hormon- und Nervensystem bei Wirbeltieren . . . . .	1180
41.2.5	Hormone des Hypophysenhinterlappens . . . . .	1180
41.2.6	Hormone des Hypophysenvorderlappens . . . . .	1181
41.2.7	Die Regulation der Schilddrüse: Eine Hormonkaskade. . . . .	1182
41.2.8	Hormonelle Regulation des Wachstums. . . . .	1183
41.3	Reaktionen endokriner Drüsen auf verschiedene Reize in der Regulation von Homöostase, Entwicklung und Verhalten . . . . .	1184
41.3.1	Parathormon und Vitamin D: Steuerung des Ca <sup>2+</sup> -Spiegels im Blut. . . . .	1184
41.3.2	Hormone der Nebennieren: Stressantwort . . . . .	1185
41.3.3	Geschlechtshormone aus den Geschlechtsdrüsen . . . . .	1188
41.3.4	Melatonin und Biorhythmus. . . . .	1189
41.3.5	Evolution und Hormonfunktion . . . . .	1190

42.1	Die Nahrung der Tiere muss die Versorgung mit chemischer Energie, organischen Molekülen und essenziellen Nährstoffen gewährleisten	1196
42.1.1	Essenzielle Nährstoffe	1197
42.1.2	Mangelernährung	1202
42.1.3	Ermittlung des Nährstoffbedarfs	1203
42.2	Nährstoffverarbeitung: Aufnahme, Verdauung, Resorption und Ausscheidung	1204
42.2.1	Verdauungskompartimente	1206
42.3	Spezialisierte Organe für die verschiedenen Stadien der Nahrungsverarbeitung im Verdauungssystem der Säugetiere	1208
42.3.1	Mundhöhle, Schlund und Speiseröhre	1208
42.3.2	Verdauung im Magen	1210
42.3.3	Verdauung im Dünndarm	1212
42.3.4	Resorption im Dünndarm	1213
42.3.5	Resorption im Dickdarm	1215
42.4	Ernährung und die evolutive Anpassung der Verdauungssysteme von Wirbeltieren	1216
42.4.1	Anpassung der Zähne	1216
42.4.2	Anpassungen von Magen und Darm	1216
42.4.3	Anpassungen durch Symbiose	1217
42.4.4	Anpassungen durch Symbiose bei Pflanzenfressern	1218
42.5	Regelkreise steuern Verdauung, Energiehaushalt und Appetit	1219
42.5.1	Regulation der Verdauung	1219
42.5.2	Regulation des Energiehaushalts	1219
42.5.3	Regulation von Appetit und Verbrauch	1222

**Kapitel 43 Kreislauf und Gasaustausch**

43.1	Kreislaufsysteme verknüpfen alle Zellen des Körpers mit Austauschflächen	1230
43.1.1	Gastrovaskularsysteme	1230
43.1.2	Offene und geschlossene Kreislaufsysteme	1231
43.1.3	Die Organisation von Kreislaufsystemen bei Wirbeltieren	1232
43.2	Koordinierte Kontraktionszyklen des Herzens treiben den doppelten Kreislauf bei Säugern an	1234
43.2.1	Der Säugerkreislauf	1234
43.2.2	Das Säugerherz: Eine nähere Betrachtung	1235
43.2.3	Der rhythmische Herzschlag	1236
43.3	Blutdruck und Blutfluss spiegeln Bau und Anordnung der Blutgefäße wider	1238
43.3.1	Bau und Funktion von Blutgefäßen	1238
43.3.2	Strömungsgeschwindigkeit des Bluts	1239
43.3.3	Blutdruck	1239
43.3.4	Kapillarfunktion	1242
43.3.5	Flüssigkeitsrückführung durch das Lymphsystem	1243
43.4	Blutbestandteile und ihre Funktion bei Stoffaustausch, Transport und Abwehr	1244
43.4.1	Blutzusammensetzung und Funktion	1244
43.4.2	Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems	1247
43.5	Gasaustausch erfolgt an spezialisierten respiratorischen Oberflächen	1250
43.5.1	Partialdruckgradienten beim Gasaustausch	1250
43.5.2	Atemmedien	1251
43.5.3	Respiratorische Oberflächen	1251
43.5.4	Kiemen bei wasserlebenden Tieren	1252
43.5.5	Tracheensysteme bei Insekten	1253
43.5.6	Lungen	1254
43.6	Atmung: Ventilation der Lunge	1257
43.6.1	Atmung bei Amphibien	1257
43.6.2	Atmung bei Vögeln	1257
43.6.3	Atmung bei Säugern	1257
43.6.4	Kontrolle der Atmung beim Menschen	1258

43.7	Anpassungen an den Gasaustausch: Respiratorische Proteine binden und transportieren	
	Atemgase	1259
43.7.1	Koordination von Zirkulation und Gasaustausch	1260
43.7.2	Respiratorische Proteine	1260
43.7.3	Tierische „Spitzenathleten“	1263

## **Kapitel 44 Das Immunsystem** 1269

44.1	Das angeborene Immunsystem basiert auf der Erkennung gemeinsamer Muster von Krankheitserregern	1271
44.1.1	Angeborene Immunabwehr wirbelloser Tiere	1271
44.1.2	Angeborene Immunabwehr der Wirbeltiere	1272
44.1.3	Wie Krankheitserreger dem angeborenen Immunsystem entgehen	1277
44.2	Im adaptiven Immunsystem ermöglicht eine Vielzahl an Rezeptoren die spezifische Erkennung von Pathogenen	1277
44.2.1	Antigenerkennung durch B-Zellen und Antikörper	1278
44.2.2	Antigenerkennung durch T-Zellen	1279
44.2.3	Die Entwicklung von B- und T-Zellen	1280
44.3	Adaptive Immunität und die Abwehr von Infektionen in Körperzellen und Körperflüssigkeiten	1284
44.3.1	Helfer-T-Zellen: Reaktion auf nahezu alle Antigene	1284
44.3.2	Cytotoxische T-Zellen: Abwehr gegen intrazelluläre Pathogene	1285
44.3.3	B-Zellen: Abwehr gegen extrazelluläre Pathogene	1286
44.3.4	Aktive und passive Immunität	1289
44.3.5	Antikörper als Hilfsmittel in Forschung und Diagnostik	1291
44.4	Störungen des Immunsystems	1292
44.4.1	Übermäßige, gegen körpereigene Strukturen gerichtete und verminderte Immunreaktionen	1292
44.4.2	Strategien der Krankheitserreger der adaptiven Immunabwehr zu entgehen	1295
44.4.3	Krebs und Immunität	1299

## **Kapitel 45 Osmoregulation und Exkretion** 1303

45.1	Osmoregulation: Gleichgewicht zwischen Aufnahme und Abgabe von Wasser und den darin gelösten Stoffen	1304
45.1.1	Osmose und Osmolarität	1304
45.1.2	Strategien zur Bewältigung osmotischer Herausforderungen	1305
45.1.3	Die Energetik der Osmoregulation	1309
45.1.4	Transportepithelien	1309
45.2	Die stickstoffhaltigen Exkretionsprodukte eines Tieres spiegeln dessen Phylogenie und Habitat wider	1310
45.2.1	Formen stickstoffhaltiger Exkretionsprodukte	1311
45.2.2	Einfluss von Evolution und Umwelt auf stickstoffhaltige Exkretionsprodukte	1312
45.3	Verschiedene Exkretionssysteme sind Abwandlungen tubulärer Systeme	1312
45.3.1	Exkretionsprozesse	1312
45.3.2	Ein Überblick über verschiedene Exkretionssysteme	1313
45.4	Das Nephron: Schrittweise Verarbeitung des Ultrafiltrats	1316
45.4.1	Vom Ultrafiltrat zum Urin: <i>Eine genauere Betrachtung</i>	1317
45.4.2	Osmotische Gradienten und Wasserkonservierung	1320
45.4.3	Anpassungen der Wirbeltierniere an unterschiedliche Lebensräume	1321
45.5	Hormonelle Regelkreise verknüpfen Nierenfunktion, Wasserhaushalt und Blutdruck	1325
45.5.1	Antidiuretisches Hormon	1325
45.5.2	Das Renin-Angiotensin-Aldosteron-System	1326
45.5.3	Homöostatische Regulation der Niere	1328

<b>Kapitel 46 Fortpflanzung der Tiere</b>	<b>1333</b>
46.1 Sexuelle und asexuelle Fortpflanzung im Tierreich	1334
46.1.1 Mechanismen ungeschlechtlicher Fortpflanzung	1334
46.1.2 Unisexuelle Fortpflanzung	1335
46.1.3 Bisexuelle Fortpflanzung: Ein evolutionäres Rätsel	1335
46.1.4 Fortpflanzungszyklen und -muster	1336
46.2 Die Befruchtung hängt von Mechanismen ab, die Eizellen und Spermien derselben Art zusammenbringen	1338
46.2.1 Das Überleben des Nachwuchses sichern	1339
46.2.2 Gametenproduktion und -übergabe	1339
46.3 Keimzellenproduktion und -transport mittels Fortpflanzungsorganen	1342
46.3.1 Das weibliche Fortpflanzungssystem	1342
46.3.2 Das männliche Fortpflanzungssystem	1343
46.3.3 Die sexuelle Reaktion des Menschen	1345
46.4 Unterschiede in Zeitverlauf und Muster der Meiose bei männlichen und weiblichen Säugern	1345
46.5 Fortpflanzungsregulierung bei Säugern: Ein komplexes Zusammenspiel von Hormonen	1348
46.5.1 Hormonelle Kontrolle des männlichen Fortpflanzungssystems	1349
46.5.2 Der weibliche Fortpflanzungszyklus	1350
46.6 Bei placentalen Säugern findet die gesamte Embryonalentwicklung im Uterus statt	1353
46.6.1 Empfängnis, Embryonalentwicklung und Geburt	1353
46.6.2 Maternale Immuntoleranz gegenüber Embryo und Fetus	1356
46.6.3 Empfängnisverhütung und Abtreibung	1356
46.6.4 Moderne Reproduktionstechniken	1358
 <b>Kapitel 47 Entwicklung der Tiere</b>	 <b>1365</b>
47.1 Nach der Befruchtung schreitet die Embryonalentwicklung durch Furchung, Gastrulation und Organogenese fort	1367
47.1.1 Besamung und Befruchtung	1367
47.1.2 Furchung	1371
47.2 An der tierischen Morphogenese sind spezifische Veränderungen in Zellform, Zellposition und Zelladhäsion beteiligt	1374
47.2.1 Gastrulation	1374
47.2.2 Entwicklungsphysiologische Anpassungen von Amnioten	1378
47.2.3 Organogenese	1379
47.2.4 Mechanismen der Morphogenese	1381
47.3 Das Schicksal von sich entwickelnden Zellen ist von ihrer Vorgeschichte und von induktiven Signalen abhängig	1384
47.3.1 Anlagepläne	1384
47.3.2 Festlegung des Zellschicksals und Musterbildung durch induktive Signale	1389
 <b>Kapitel 48 Neurone, Synapsen und Signalgebung</b>	 <b>1399</b>
48.1 Neuronale Organisation und Struktur als Spiegel der Funktion bei der Informationsübermittlung	1400
48.1.1 Einführung in die Informationsverarbeitung	1400
48.1.2 Neuronale Struktur und Funktion	1401
48.2 Aufrechterhaltung des Ruhepotenzials eines Neurons durch Ionenpumpen und Ionenkanäle	1402
48.2.1 Entstehung des Ruhepotenzials	1403
48.2.2 Ein Modell des Ruhepotenzials	1404
48.3 Axonale Fortleitung von Aktionspotenzialen	1405
48.3.1 Erzeugung von Aktionspotenzialen	1406
48.3.2 Erzeugung von Aktionspotenzialen: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	1406
48.3.3 Fortleitung von Aktionspotenzialen	1408
48.4 Synapsen als Kontaktstellen zwischen Neuronen	1410
48.4.1 Erzeugung postsynaptischer Potenziale	1411
48.4.2 Summation postsynaptischer Potenziale	1411
48.4.3 Modulation der synaptischen Übertragung	1412
48.4.4 Neurotransmitter	1413

49.1	Nervensysteme bestehen aus Neuronenschaltkreisen und unterstützenden Zellen . . . . .	1420
49.1.1	Organisation des Wirbeltiernervensystems . . . . .	1421
49.1.2	Das periphere Nervensystem. . . . .	1423
49.2	Regionale Spezialisierung des Wirbeltiergehirns . . . . .	1425
49.2.1	Der Hirnstamm. . . . .	1427
49.2.2	Das Kleinhirn (Cerebellum). . . . .	1429
49.2.3	Das Zwischenhirn (Diencephalon) . . . . .	1429
49.2.4	Funktionelle Bildgebung des Gehirns . . . . .	1430
49.2.5	Das Großhirn (Cerebrum) . . . . .	1431
49.2.6	Die Evolution der Kognition bei Wirbeltieren . . . . .	1431
49.3	Die Großhirnrinde: Kontrolle von Willkürbewegungen und kognitiven Funktionen . . . . .	1432
49.3.1	Informationsverarbeitung in der Großhirnrinde. . . . .	1432
49.3.2	Sprache und Sprechen . . . . .	1434
49.3.3	Lateralisierung corticaler Funktionen . . . . .	1434
49.3.4	Emotionen . . . . .	1435
49.3.5	Bewusstsein . . . . .	1436
49.4	Gedächtnis und Lernen als Folge von Veränderungen der synaptischen Verbindungen. . . . .	1436
49.4.1	Neuronale Plastizität . . . . .	1437
49.4.2	Gedächtnis und Lernen . . . . .	1437
49.4.3	Langzeitpotenzierung . . . . .	1438
49.5	Störungen des Nervensystems: Erklärungen auf molekularer Basis . . . . .	1439
49.5.1	Schizophrenie . . . . .	1439
49.5.2	Depressionen . . . . .	1440
49.5.3	Substanzmissbrauch und das Belohnungssystem des Gehirns . . . . .	1440
49.5.4	Alzheimer-Krankheit . . . . .	1441
49.5.5	Parkinson-Krankheit . . . . .	1442
49.5.6	Stammzelltherapie. . . . .	1442

**Kapitel 50 Sensorische und motorische Mechanismen**

50.1	Sensorische Rezeptoren: Umwandlung von Reizenergie und Signalübermittlung an das Zentralnervensystem . . . . .	1448
50.1.1	Sensorische Bahnen. . . . .	1448
50.1.2	Sensorische Rezeptortypen . . . . .	1450
50.2	Die für Gehör und Gleichgewicht zuständigen Mechanorezeptoren nehmen Flüssigkeits- oder Partikelbewegungen wahr . . . . .	1453
50.2.1	Wahrnehmung von Schwerkraft und Schall bei Wirbellosen . . . . .	1453
50.2.2	Gehör und Gleichgewichtssinn bei Säugern. . . . .	1453
50.2.3	Gehör und Gleichgewichtssinn bei anderen Wirbeltieren. . . . .	1457
50.3	Geschmacks- und Geruchssinn basieren auf ähnlichen Sinneszelltypen. . . . .	1458
50.3.1	Der Geschmackssinn bei Säugern . . . . .	1459
50.3.2	Der Geruchssinn des Menschen . . . . .	1461
50.4	Im ganzen Tierreich basiert das Sehen auf ähnlichen Mechanismen. . . . .	1463
50.4.1	Sehen bei Wirbellosen. . . . .	1463
50.4.2	Das Sehsystem von Wirbeltieren . . . . .	1464
50.5	Muskelkontraktion erfordert die Interaktion von Muskelproteinen . . . . .	1469
50.5.1	Die Skelettmuskulatur von Wirbeltieren . . . . .	1469
50.5.2	Andere Muskeltypen . . . . .	1475
50.6	Das Skelettsystem wandelt Muskelkontraktion in Fortbewegung um . . . . .	1476
50.6.1	Skelettsystemtypen . . . . .	1477
50.6.2	Verschiedene Formen der Fortbewegung. . . . .	1480
50.6.3	Energetische Kosten der Fortbewegung . . . . .	1481

<b>Kapitel 51</b>	<b>Tierisches Verhalten</b>	<b>1487</b>
51.1	Einfaches und komplexes Verhalten kann durch bestimmte sensorische Eingangssignale ausgelöst werden. . . . .	1488
51.1.1	Festgelegte Reaktionsmuster (Erbkoordination). . . . .	1489
51.1.2	Migration . . . . .	1490
51.1.3	Verhaltensbiologische Rhythmen. . . . .	1490
51.1.4	Signalgebung und Kommunikation bei Tieren . . . . .	1491
51.2	Lernen: Spezifische Verknüpfung von Erfahrung und Verhalten . . . . .	1493
51.2.1	Erfahrung und Verhalten. . . . .	1493
51.3	Verhaltensweisen lassen sich durch Selektion auf Überleben und Fortpflanzungserfolg eines Individuums erklären . . . . .	1500
51.3.1	Evolution von Verhalten zum Nahrungserwerb. . . . .	1500
51.3.2	Paarungsverhalten und Partnerwahl . . . . .	1502
51.4	Genetische Analysen und die Theorie der Gesamtfitness liefern eine Basis für Untersuchungen zur Evolution von Verhalten . . . . .	1507
51.4.1	Die genetische Basis von Verhalten . . . . .	1507
51.4.2	Genetische Variabilität und die Evolution von Verhalten. . . . .	1508
51.4.3	Altruismus. . . . .	1509
51.4.4	Gesamtfitness. . . . .	1510
51.4.5	Evolution und menschliche Kultur . . . . .	1512

## **Teil VIII Ökologie** 1517

### **Kapitel 52 Ökologie und die Biosphäre: Eine Einführung** 1519

52.1	Die Ökologie integriert viele biologische Forschungsrichtungen und dient als wissenschaftliche Grundlage für den Natur- und Umweltschutz. . . . .	1520
52.1.1	Der Zusammenhang zwischen Ökologie und Evolutionsbiologie. . . . .	1522
52.1.2	Ökologie und Umweltschutz . . . . .	1522
52.2	Die Wechselbeziehungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt bestimmen ihre Verbreitung und Häufigkeit . . . . .	1523
52.2.1	Ausbreitung und Verbreitung. . . . .	1525
52.2.2	Verhalten und Habitatselektion . . . . .	1525
52.2.3	Biotische Faktoren. . . . .	1526
52.2.4	Abiotische Faktoren . . . . .	1527
52.2.5	Klima . . . . .	1528
52.3	Aquatische Biome: Vielfältige und dynamische Systeme, die den größten Teil der Erdoberfläche einnehmen. . . . .	1534
52.3.1	Struktur aquatischer Biome . . . . .	1535
52.4	Klima und unvorhersagbare Umweltveränderungen bestimmen die Struktur und Verbreitung der terrestrischen Biome. . . . .	1544
52.4.1	Makroklima und terrestrische Biome . . . . .	1545
52.4.2	Allgemeine Eigenschaften terrestrischer Biome und die Bedeutung von Störungen. . .	1545

### **Kapitel 53 Populationsökologie** 1557

53.1	Dynamische Prozesse und ihr Einfluss auf die Individuendichte, Individuenverteilung und Demografie von Populationen. . . . .	1558
53.1.1	Individuendichte und Verteilungsmuster . . . . .	1558
53.1.2	Demografie. . . . .	1562
53.2	Wichtige Phasen im Lebenszyklus einer Organismenart als Produkt der natürlichen Selektion . . . . .	1565
53.2.1	Evolution und die Vielfalt von Lebenszyklen . . . . .	1565
53.2.2	„Kompromisse“ und Lebenszyklus . . . . .	1566



53.3	Exponentielles Wachstum: Ein Modell für Populationen in einer idealen, unbegrenzten Umwelt	1568
53.3.1	Pro-Kopf-Zunahme	1568
53.3.2	Exponentielles Wachstum	1569
53.4	Das logistische Wachstumsmodell: Langsameres Populationswachstum bei Annäherung an die Umweltkapazität	1570
53.4.1	Das logistische Wachstumsmodell	1570
53.4.2	Das logistische Modell und natürliche Populationen	1572
53.4.3	Logistisches Modell und Lebenszyklus	1573
53.5	Dichteabhängige Einflüsse auf das Populationswachstum	1574
53.5.1	Populationsveränderungen und Individuendichte	1575
53.5.2	Dichteabhängige Regulation von Populationen	1575
53.5.3	Populationsdynamik	1577
53.6	Die menschliche Bevölkerung: Kein exponentielles Wachstum mehr, aber immer noch ein steiler Anstieg	1580
53.6.1	Die Erdbevölkerung	1580
53.6.2	Globale Umweltkapazität	1583

## **Kapitel 54 Ökologie der Lebensgemeinschaften** 1589

54.1	Wechselbeziehungen zwischen Organismen: Positiv, negativ oder neutral	1590
54.1.1	Interspezifische Konkurrenz	1591
54.1.2	Prädation	1593
54.1.3	Parasitismus	1596
54.1.4	Herbivorie	1597
54.1.5	Mutualismus	1598
54.1.6	Parabiose und Kommensalismus	1598
54.1.7	Metabiose	1599
54.2	Der Einfluss von dominanten Arten und Schlüsselarten auf die Struktur von Lebensgemeinschaften	1600
54.2.1	Artendiversität	1600
54.2.2	Trophische Strukturen	1601
54.2.3	Arten mit einer großen Bedeutung für die Lebensgemeinschaft	1604
54.2.4	Bottom-up- und Top-down-Kontrolle in Nahrungsnetzen	1606
54.3	Der Einfluss von Störungen auf Artendiversität und Artenzusammensetzung	1608
54.3.1	Charakterisierung von Störungen	1609
54.3.2	Sukzession	1610
54.3.3	Von Menschen verursachte Störungen	1612
54.4	Biogeografische Faktoren und ihre Bedeutung für die Artendiversität in Lebensgemeinschaften	1613
54.4.1	Breitengradabhängigkeit	1613
54.4.2	Effekte der Flächengröße	1614
54.4.3	Insel-Biogeografie	1615
54.5	Lebensgemeinschaften: ihre Bedeutung für das Verständnis der Lebenszyklen von Pathogenen und ihre Bekämpfung	1617
54.5.1	Pathogene und die Struktur von Lebensgemeinschaften	1617
54.5.2	Lebensgemeinschaften und Zoonosen	1618

## **Kapitel 55 Ökosysteme** 1625

55.1	Der Energiehaushalt und die biogeochemischen Kreisläufe von Ökosystemen	1627
55.1.1	Energieerhaltung	1627
55.1.2	Erhaltung der Masse	1628
55.1.3	Energie, Masse und Trophieebenen	1628
55.2	Energie und andere limitierende Faktoren der Primärproduktion der Ökosysteme	1630
55.2.1	Energiebilanzen von Ökosystemen	1630
55.2.2	Primärproduktion in aquatischen Ökosystemen	1632
55.2.3	Primärproduktion in terrestrischen Ökosystemen	1634

55.3	Energietransfer zwischen Trophieebenen: Effizienz meist unter zehn Prozent . . . . .	1635
55.3.1	Produktionseffizienz . . . . .	1635
55.3.2	Die Grüne-Welt-Hypothese . . . . .	1637
55.4	Biologische und geochemische Prozesse regulieren die Nährstoffkreisläufe eines Ökosystems . .	1638
55.4.1	Biogeochemische Kreisläufe . . . . .	1638
55.4.2	Mineralisierungs- und Umlaufraten bei Nährstoffkreisläufen . . . . .	1642
55.4.3	<i>Fallstudie:</i> Nährstoffkreisläufe im Hubbard Brook Experimental Forest . . . . .	1643
55.5	Der Einfluss des Menschen auf die biogeochemischen Kreisläufe der Erde . . . . .	1644
55.5.1	Nährstoffanreicherung. . . . .	1644
55.5.2	Saurer Regen . . . . .	1646
55.5.3	Umweltgifte . . . . .	1647
55.5.4	Treibhausgase und globale Erwärmung . . . . .	1648
55.5.5	Abbau der stratosphärischen Ozonschicht. . . . .	1651
<b>Kapitel 56 Naturschutz und Renaturierungsökologie</b>		<b>1657</b>
56.1	Der Mensch als Gefahr für die biologische Vielfalt . . . . .	1658
56.1.1	Die drei Ebenen der biologischen Vielfalt . . . . .	1659
56.1.2	Biologische Vielfalt und das Wohlergehen des Menschen . . . . .	1661
56.1.3	Drei Gefahren für die biologische Vielfalt . . . . .	1662
56.2	Populationsgröße, genetische Variabilität und kritische Habitatgröße beim Schutz von Populationen . . . . .	1665
56.2.1	Ermittlung der minimalen überlebensfähigen Populationsgröße . . . . .	1665
56.2.2	Populationsextinktion durch zufällige und häufige Umweltereignisse . . . . .	1668
56.2.3	Abwägen konkurrierender Ansprüche. . . . .	1670
56.3	Landschafts- und Gebietsschutz zur Erhaltung ganzer Biota . . . . .	1671
56.3.1	Struktur und biologische Vielfalt von Landschaften . . . . .	1671
56.3.2	Einrichtung von Schutzgebieten. . . . .	1672
56.4	Renaturierung: Wiederherstellung geschädigter Ökosysteme. . . . .	1676
56.4.1	Biologische Sanierung. . . . .	1677
56.4.2	Biologische Bestandsstützung. . . . .	1677
56.4.3	Renaturierung als Zukunftsaufgabe . . . . .	1680
56.5	Nachhaltige Entwicklung: Das Wohlergehen der Menschen durch die Bewahrung der biologischen Vielfalt . . . . .	1681
56.5.1	Das Konzept der nachhaltigen Entwicklung . . . . .	1681
56.5.2	<i>Fallstudie:</i> Nachhaltige Entwicklung in Costa Rica. . . . .	1682
56.5.3	Die Zukunft der Biosphäre . . . . .	1682
<b>Anhang A: Lösungen</b>		<b>1687</b>
<b>Anhang B: Anleitungen zu den wissenschaftlichen Übungen</b>		<b>1759</b>
<b>Anhang C: Weiterführende Literatur</b>		<b>1763</b>
<b>Anhang D: Bildnachweis</b>		<b>1765</b>
<b>Anhang E: Stichwortverzeichnis</b>		<b>1775</b>